

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-499(42)-81

К.М.АВАКЯН, Г.В.АЗИЗБЕКЯН,
П.С.МНАЦАКАНЯН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР,
НАПОЛНЕННЫХ АЗОТОМ

ԵՐԵՎԱՆ 1981 ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-499(42)-81

К.М.АВАКЯН, Г.В.АЗИЗБЕКЯН, П.С.МНАЦАКАНЯН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР,
НАПОЛНЕННЫХ АЗОТОМ

Ереван 1981

© *Ереванский физический институт, 1981*

EOM-499(42)-81

K.M.AVAKYAN, G.V.AZIZBEKYAN, P.S.MNATSAKANYAN

CHARACTERISTICS OF IONIZATION CHAMBERS
FILLED WITH NITROGEN

The results are given of the investigation of the ionization chamber operation filled with nitrogen versus pressure and purity of the gas. The influence of the oxygen impurity on the amplitude characteristics of argon and nitrogen chambers is investigated and the possibility of using a nitrogen-filled ionization chamber in a large-size calorimeter is shown.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1981

БФФИ-499(42)-81

УДК.539.074.22

К.М.АВАКЯН, Г.В.АЗИЗБЕКЯН, П.С.МНАЦАКАНЯН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР,
НАПОЛНЕННЫХ АЗОТОМ

Приводятся результаты исследования работы ионизационной камеры, наполненной азотом, в зависимости от давления и чистоты газа. Исследовано влияние примеси кислорода на амплитудную характеристику аргоновой и азотной камеры и показана возможность использования азотнонаполненной ионизационной камеры в калориметре больших размеров.

Ереванский физический институт

Ереван 1981

В соответствии с проектом эксперимента АНИ [1] в настоящее время разрабатывается ионизационный калориметр, являющийся одним из основных узлов экспериментального комплекса по исследованию космического излучения сверхвысоких энергий (10^{12} – 10^{16} эВ). В отличие от существующих установок, данный калориметр имеет очень большие размеры – его площадь 1600 м^2 , что накладывает определенные ограничения при выборе как вещества, так и детекторов ионизации.

Применение обычно используемых в качестве детекторов ионизации аргононаполненных ионизационных камер в калориметре таких больших размеров связано с большими материальными затратами и трудностями с доставкой большого количества Ar на высокогорную станцию. Решение вопроса о детекторе ионизации является первостепенной задачей поскольку конструкция и характеристики калориметра во многом определяются именно детектором. В связи с этим исследовались различные варианты ионизационных камер с целью выбора оптимального, в смысле приемлемого, по рабочим характеристикам и стоимости.

Один из вариантов - использовать в качестве рабочего газа ионизационной камеры воздух - был предложен Н.Б.Симевым, которым была испытана камера размером $15 \times 15 \times 10$ см³ и показана принципиальная возможность использования воздушной ионизационной камеры. Автором работы [2] было проведено исследование различных конструкций воздушной ионизационной камеры и показано, что наряду с большим временем разрешения (≈ 1 мс), обремененным ионному сбору заряду, и высоким порогом регистрации заряженных частиц (несколько тысяч частиц на камеру), техническая реализация этих камер сопряжена с рядом сложностей. В частности, для уменьшения утечки заряда по изоляторам, необходима сушка воздуха, а следовательно и герметизация камер.

В работе [3] было предложено использовать в качестве рабочего газа ионизационных камер калориметра установки АНИ азот, стоимость которого более чем в 1000 раз меньше стоимости чистого аргона. Азот, также как и инертные газы, не обладает электроотрицательными свойствами, поэтому в нем будет осуществляться электронное собирание, причем время собирания заряда будет меньше, чем в Ar , так как скорость дрейфа электронов в N_2 выше. Коэффициент рекомбинации в азоте примерно на порядок больше, чем в аргоне [4], кроме того, N_2 более чувствителен к электроотрицательным примесям [5], поэтому насыщение в камере с азотом должно достигаться при более высокой напряженности электрического поля. Другим недостатком азота по сравнению с аргоном является то, что заряженная частица в N_2 производит меньшую ионизацию, нежели в Ar . Однозарядная частица с минимальной ионизацией при атмосферном давлении образует на 1 см пути 56 пар ионов в N_2 и 94 пары в Ar [6].

В литературе очень мало сведений о применении азота в ионизационной камере, имеющиеся данные относятся к камере с сеткой [5,7]. Причина того, что азотонаполненные камеры не получили применения, заключается в упомянутых выше недостатках азота. Это и понятно, если учесть, что размеры применяемых до настоящего времени ионизационных камер были сравнительно малы и, соответственно, расход Az невелик.

Нами были исследованы амплитудные и временные характеристики азотонаполненных ионизационных камер в зависимости от давления и чистоты N_2 . Были испытаны цилиндрические камеры разных диаметров и многопроволочная камера с целью выбора оптимальной конструкции камеры для калориметра установки АНИ.

Усиление сигнала с камеры осуществлялось маломощным зарядочувствительным усилителем с входным сопротивлением $R_{вх} > 20 \text{ мОм}$ и полосой пропускания $0,3 \div 100 \text{ кГц}$. Затем импульсы поступали на осциллограф и через схему обострения фронта на анализатор АИ-256.

Источником ионизации служил ^{239}Pu с энергией α -частиц 5,15 МэВ, помещаемый на внутренней поверхности отрицательного электрода. Пробег α -частиц с такой энергией в N_2 при атмосферном давлении равен $\sim 4 \text{ см}$.

На рис.1 приведено амплитудное распределение импульсов с цилиндрической стальной камеры диаметром 95 мм при атмосферном давлении и чистоте азота 99,999%. Длина камеры 4 м, в качестве сигнального электрода использован медный провод диаметром 1,2 мм, электрическая ёмкость камеры равна 54 пФ. По максимуму распределений построена зависимость амплитуды сигнала от прикладываемого к камере напряжения, показанная на рис.2(кривая I)

Как видно на рисунке, насыщение достигается уже при напряжении 100 В.

Была изготовлена многопроволочная камера из стали длиной 2 м, высотой 12 см и расстоянием между сигнальными электродами 6 см. Измерения проводились при непрерывном продуве азотом разной чистоты при атмосферном давлении. На рис.3 приведены эскиз конструкции камеры и кривые насыщения при чистоте азота 99,999% и 99,99%. Чистота N_2 , как видим, очень существенно влияет на напряжение насыщения.

Зависимость амплитуды импульса от прикладываемого напряжения при разных давлениях азота и содержании примеси кислорода менее 0,001% приведена на рис.4. На рис.5 показана зависимость амплитуды импульсов от прикладываемого напряжения при атмосферном давлении для разных концентраций примеси кислорода. Эти измерения проведены с цилиндрической камерой диаметром 160 мм при диаметре сигнального электрода 8 мм, ёмкость камеры 18 пФ. По оси ординат отложена амплитуда импульса на выходе усилителя.

На рис.6 приведена зависимость времени собирания электронов в цилиндрической камере от прикладываемого напряжения. Измерения проведены с двумя камерами; первая камера диаметром электродов 160 и 8 мм, вторая 95 и 1,2 мм. За время собирания принималось время нарастания импульса на уровне $0,1 + 0,9$. Необходимо отметить, что в противоположность ионизационной камере, наполненной аргоном, в камере с азотом время собирания не зависит от чистоты газа, так как скорость дрейфа электронов в N_2 не зависит от примеси кислорода [8].

Сильную зависимость напряжения насыщения азотонаполненной камеры от давления и количества примеси кислорода можно объяснить, обращаясь к кривой зависимости вероятности прилипания электрона за одно соударение с молекулой O_2 от средней энергии электрона, приведенной на рис.7 [9]. В отличие от инертных газов, в молекулярных газах, в том числе и в азоте, ввиду наличия низких уровней возбуждения, средняя энергия электрона сравнительно низка. В азоте при значении $E/\rho = 0,05 + 1,0$ В/см · мм.рт.ст.она изменяется в пределах $0,1 + 0,7$ эВ, а в этой области энергий вероятность прилипания, как видно на рис.7, сильно меняется. Кроме того, известно, что довольно малая примесь молекул воды может вызывать значительное увеличение скорости прилипания медленных электронов к молекулам воды [10].

В цилиндрической камере напряженность электрического поля

$$E = \frac{U_3}{2 \ln b/a},$$

где U_3 - прикладываемое напряжение, a и b - диаметры анода (сигнального электрода) и катода. Для наглядности на рис.8 приведено распределение электрического поля в камере при зарядном напряжении 1000 В. Следы α - частиц расположены в области, близкой к стенке камеры, где напряженность поля низка. Здесь энергия и скорость дрейфа электронов малы и вероятность прилипания к молекулам O_2 большая. С увеличением давления азота энергия электронов уменьшается и вероятность прилипания резко растет. Кроме того, с ростом давления, длина следов α - частиц пропорционально уменьшается и потери электронов растут из-за большего времени дрейфа и роста колончатой рекомбинации. Все это приводит к резкому росту напряжения насыщения с увеличением давления азота.

Для сравнения влияния примеси кислорода на работу ионизационной камеры в зависимости от рабочего газа, были проведены некоторые измерения и с камерой, наполненной аргоном. На рис.9 приведены зависимости амплитуды сигнала от прикладываемого напряжения, полученные с одной и той же камерой, наполняемой Ar или N_2 с примесью кислорода 0,01%. Использовалась камера длиной 4 м, диаметром 95 мм и сигнальным электродом диаметром 1,2 мм.

Амплитуда сигнала при насыщении камеры с Ar составляет 0,3 мВ, а камеры с N_2 - 0,21 мВ. Это различие вызвано тем, что для образования одной пары ионов в аргоне α -частица расходует в среднем 25,8 эВ, а в азоте - 36 эВ. [11].

Как видим, ход кривых насыщения существенно отличается в зависимости от рабочего газа. В случае аргона амплитуда сигнала достигает максимума, а затем, при дальнейшем увеличении напряжения, начинает падать. В чистом аргоне средняя энергия электронов $\bar{\epsilon}$ превосходит 2,5 эВ даже при E/P порядка 0,01 В/см·мм рт.ст. С добавкой к Ar примеси кислорода в количестве 0,01% $\bar{\epsilon}$ уменьшается до величины 1,2 эВ, при которой сечение прилипания переменное (см.рис.7). Поэтому с ростом напряжения $\bar{\epsilon}$ растет, растет и амплитуда импульса с камеры до насыщения; затем по мере достижения $\bar{\epsilon}$ величины 1,5 эВ и выше, потери электронов за счет прилипания растут и амплитуда сигнала падает. Увеличение давления в камере, приводящее к уменьшению $\bar{\epsilon}$, несколько увеличивает напряжение насыщения, но при этом расширяется область плато. Поэтому с аргоновой камерой выгоднее работать при высоких давлениях. Расширение области плато в камере с Ar можно достигнуть также добавкой опреде-

ленного количества азота, что также приведет к смещению \mathcal{E} в область $0,5 + 1,5$ эВ, где сечение прилипания минимально. Этот способ был использован в работах [5,12] .

Обычно используемые аргононаполненные ионизационные камеры для длительного сохранения чистоты газа изготавливаются из дорогостоящего цветного металла (медь, латунь, нержавеющая сталь). Камеры с азотным наполнением можно изготавливать из обычной стали , а необходимую чистоту газа поддерживать непрерывным продувом, вырабатывая азот из воздуха непосредственно вблизи физической установки. Воздухоразделительные агрегаты для получения азота высокой чистоты недороги и изготавливаются криогенной промышленностью различной производительности.

Расход азота для поддержания необходимой чистоты в стальной камере можно подсчитать с помощью рис.1, где приведены кривые насыщения, полученные непосредственно после наполнения чистым азотом спустя 20 дней. За этот промежуток времени напряжение, при котором достигается насыщение, увеличилось со 100 до 500 В, что эквивалентно примеси кислорода в количестве 0,01%.

Теперь оценим порог чувствительности цилиндрической ионизационной камеры диаметром 25 см и длиной 40 м (длина стороны калориметра установки АНИ) наполненной азотом при атмосферном давлении. Ёмкость такой камеры порядка 500 пФ и средняя амплитуда сигнала от релятивистской частицы составляет $\sim 0,32$ мкВ. Приведенный ко входу шум используемого нами усилителя равен ± 15 мкВ, что соответствует ионизации, производимой 50-ю релятивистскими частицами. Поскольку калориметр установки АНИ предназначен для регистрации частиц с энергией выше 1 ТэВ, то указанная чувствительность камеры вполне удовлетворительна. Необходимо указать

в этой связи, что работа при атмосферном давлении в камерах позволяет использовать наряду с традиционными цилиндрическими, многопроволочные ионизационные камеры, которые возможно окажутся более приемлемыми для использования в калориметре установки АНИ.

В заключение авторы благодарят Э.А.Мамиджяна и В.В.Авакяна за полезные обсуждения и постоянную помощь

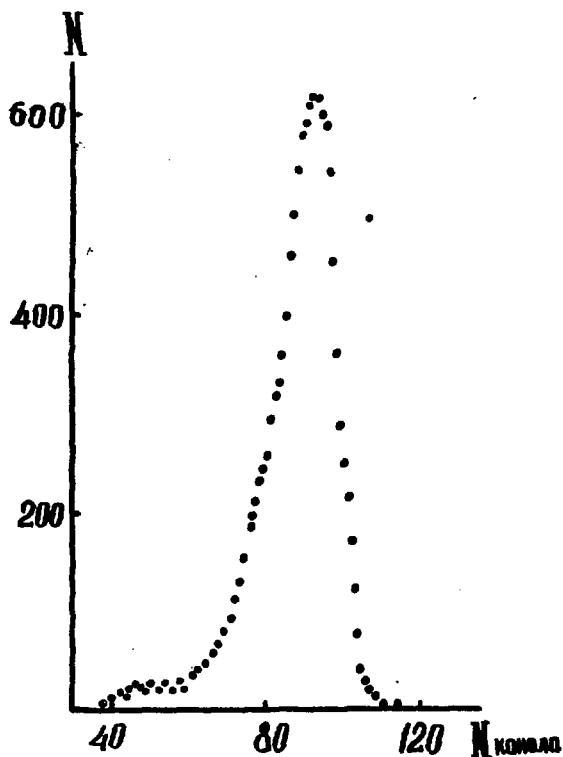


Рис. I Амплитудное распределение импульсов от α -частиц ^{239}Pu с цилиндрической камеры, наполненной азотом.

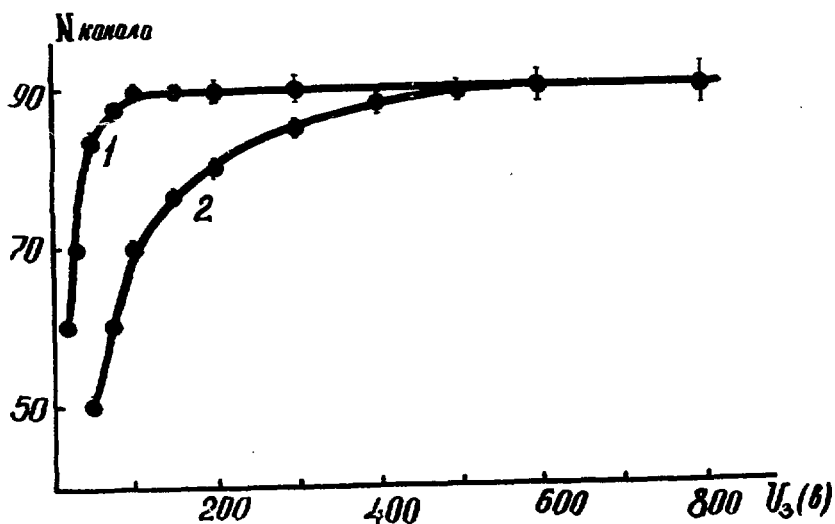


Рис.2 Кривые насыщения для цилиндрической камеры диаметром 95 мм полученные непосредственно после наполнения азотом чистоты 99,999% (1) и спустя 20 дней.

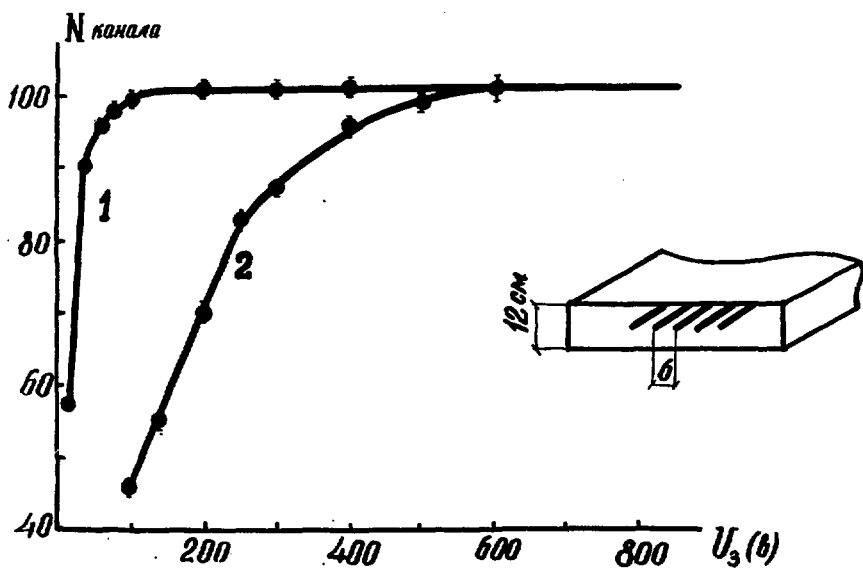


Рис.3 Эскиз конструкции многопроводной ионизационной камеры и кривые насыщения при чистоте азота: 1 - 99,999%
2 - 99,99%.

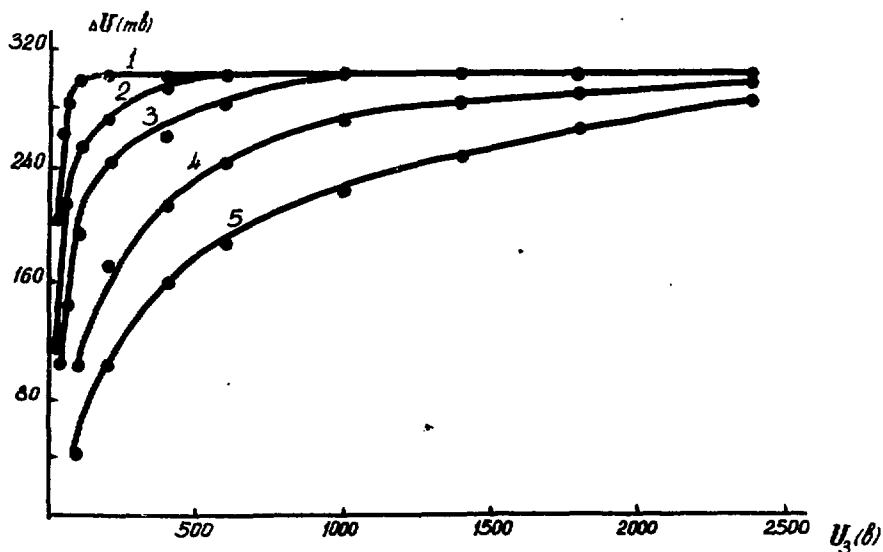


Рис. 4 Кривые насыщения для цилиндрической камеры диаметром 160 мм при разных давлениях азота: 1 - 1 атм., 2 - 1,5 атм., 3 - 2 атм., 4 - 3 атм., 5 - 4 атм.

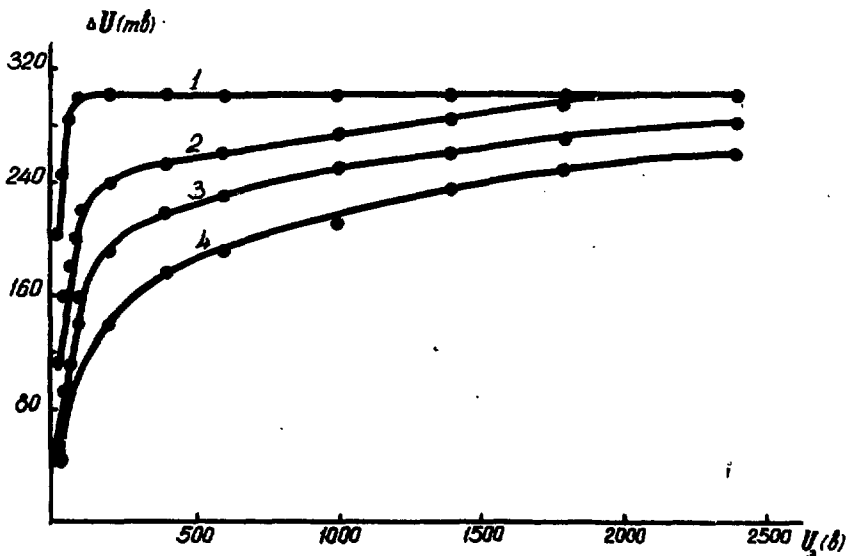


Рис. 5 Кривые насыщения для камеры диаметром 160 мм при разных добавках кислорода: 1 - чистый азот, 2 - $N_2 + 0,02\% O_2$, 3 - $N_2 + 0,05\% O_2$, 4 - $N_2 + 0,1\% O_2$.

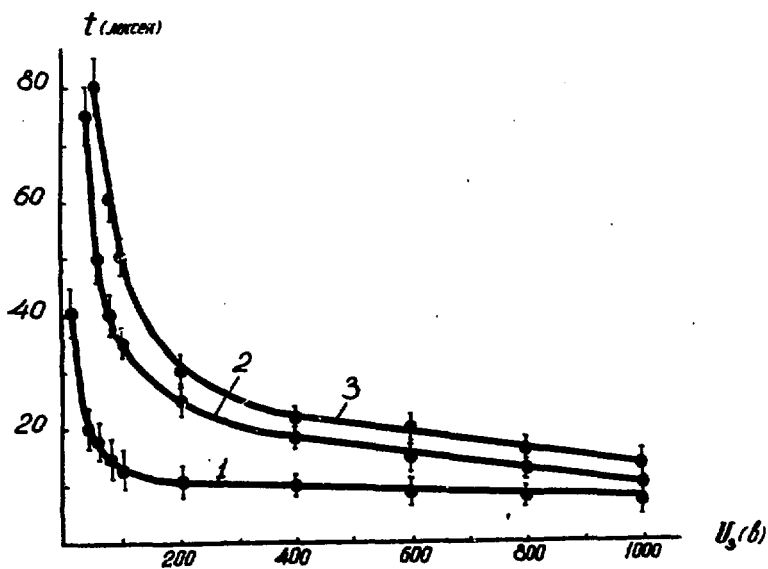


Рис.6 Зависимость времени собирания электронов от прикладываемого напряжения. 1 - камера диаметром 95 мм, 2 и 3 - камера диаметром 160 мм при давлении 1 и 2 атм.

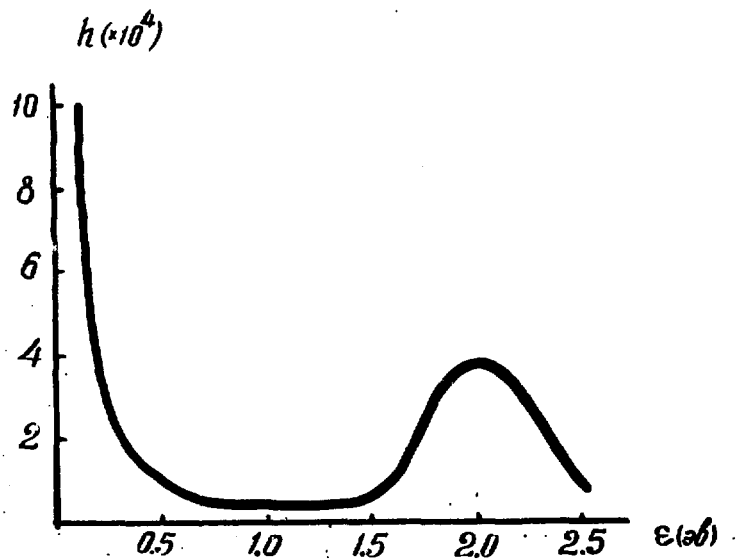


Рис.7 Зависимость вероятности прилипания электрона на одно соударение с молекулой O_2 от средней энергии электрона.

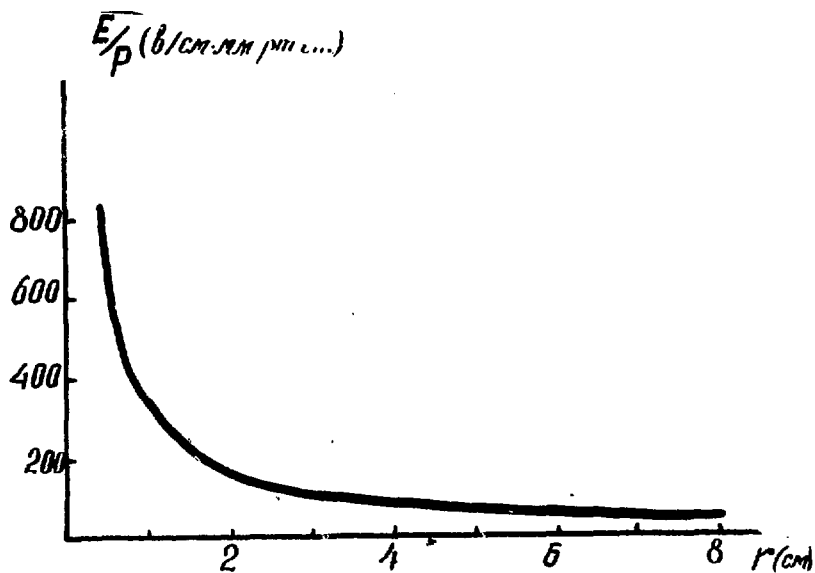


Рис.8 Распределение электрического поля по радиусу в цилиндрической камере диаметром 160 мм при зарядном напряжении 1000 В , диаметр сигнального электрода - 8 мм.

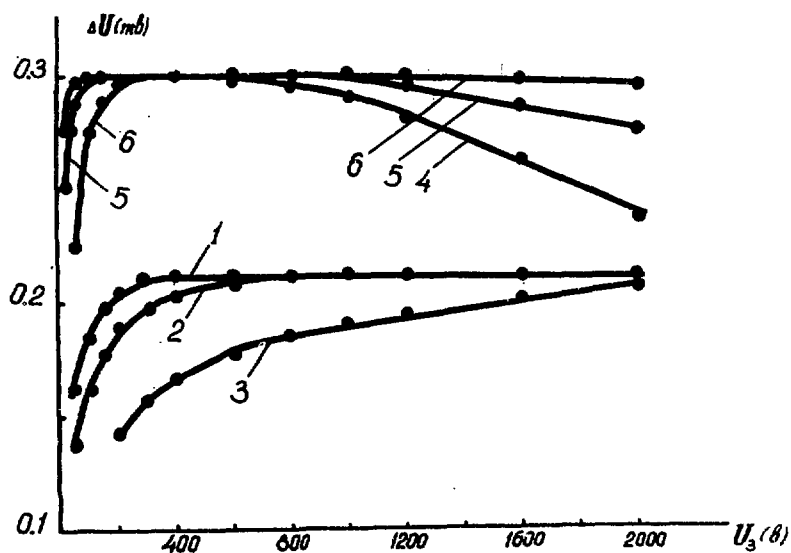


Рис.9 Амплитудная характеристика камеры при наполнении азотом (1-3) и аргонном (4-6) при давлении: 1,4-1 атм.; 2-1,5 атм. 3,5 - 2 атм.; 3,5-6 атм. Чистота газа 99,99%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольский С.И., Тукин Е.И., Фейнберг Е.Л. и др. Исследование взаимодействия адронов и ядер космического излучения при энергиях 10^3-10^5 ТэВ. Препринт ЕИИ-358(16)-79, Ереван 1979.
2. Авакян К.М. Исследование воздушной пропорциональной камеры, в сборнике Вопросы атомной науки и техники, 1981, выпуск 2/8, Харьков с.90.
3. Авакян К.М. О характеристиках пропорциональной камеры, наполненной азотом, там же, с.92.
4. Таблицы физических величин / Под ред. И.К.Кикоина, М.: Атомиздат, 1976, с.431.
5. Facchini U., Malvicini A., A-N₂ Fillings Make Ion Chambers Nucleonics, 1955, vol.13, p.36.
6. Sauli F., Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers, Preprint CERN, 77-09, 1977.
7. Herwig L.O., Miller G.H., Utterback N.G. Some Characteristics of a Gridded Parallel-Plate Ionization Chamber, RSI 1955, vol 26, p.929.
8. Bortner I.E., Hurst I.S., Stone W.G., Drift Velocities of Electrons in Some Commonly Used Counting Gases, RSI, vol 28, p.103.
9. Wilkinson D.H., Ionization Chambers and Counters, 1950, p.41, Cambridge.
10. Месси Г. Стригательные ионы, М.: Мир, 1979, с.377.

11. Калашникова В.А., Коздаев М.С., Детекторы элементарных частиц, М.: Наука, 1966, с.23.
12. Дамаскинский Е.А., Королев Г.А., Кочаров Г.Е. Эффект прилипания электронов в ионизационной камере, -ПТЭ, 1961, № 5, с.51.

Рукопись поступила 28-го июля 1981 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 563

ВФ-05560

Тираж 299

Препринт ЕФМ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 16/XI-81г. 1,0 уч.изд.л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркьяна 2.